

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИКИ ТА АКУСТОЕЛЕКТРОНІКИ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Дідковський В.С.
(підпис)

“ ” _____ 2019 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра**

з напрямку підготовки (спеціальності) 6.050803 “Акустотехніка”

на тему: Вимірювання шумових характеристик малогабаритних повітряних об'єктів

Виконав студент IV курсу, групи ДГ-51

Горовий Костянтин Володимирович

(підпис)

Керівник проф. каф. А та АЕ д.т.н. Коржик О.В.

(підпис)

Консультант _____

(підпис)

Рецензент доц. каф. ЗТ та РІ к.т.н. Швайченко В.Б.

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) _____ електроніки _____
(повна назва)
Кафедра _____ акустики та акустoeлектроніки _____
(повна назва)
Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ бакалавр _____
(назва ОКР)
Напрямок підготовки _____ 6.050803 Акустотехніка _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Дідковський В. С.
(підпис)
« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

_____ Горовому Костянтину Володимировичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вимірювання шумових характеристик малогабаритних повітряних об'єктів

керівник роботи Коржик Олексій Володимирович д.т.н., проф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. № 1405-с

2. Строк подання студентом роботи _____ 10.06.2019 _____

3. Вихідні дані до роботи: пристрій пеленгування повітряних об'єктів. Кількість електричних каналів пристрою – п'ять. Частотна селекція – на основі тритинооктавних фільтрів.

4. Зміст пояснювальної записки: вступ; формулювання проблеми, аналітичний огляд літературних джерел, формулювання мети та постановка основних задач атестаційної роботи; підготовка до практичних вимірювань; проведення вимірювань в лабораторних умовах; проведення вимірювань в натурних умовах; висновки; література; додатки.

5. Перелік графічного матеріалу презентації в Power Point.

6. Орієнтовний перелік публікацій:

- 1) Пристрій виявлення та пеленгування повітряних об'єктів / Дідковський В.С. , Коржик О.В., Горовий К.В. , Козак А.В. , Ларін П.М. , Ляхевич С.В. // XI науково- практичній конференції "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил" , 8–9 листопада, 2018 р., Київ, Україна – с. 12.
- 2) Акустичний детектор дронів / Дідковський В.С. , Козерук С.О., Коржик О.В., Горовий К.В. // 3-тя Українська науково-технічна конференція "Спеціальне приладобудування: стан та перспективи", 4–5 грудня, 2018 р., Київ, Україна – с. 35-37.

7. Дата видачі завдання: 20 вересня 2018 р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та вивчення джерел інформації для написання дипломної роботи; складання бібліографії наукових джерел	20.09.2018 – 24.09.2018	
2	Складання плану дипломної роботи	25.09.2018	
3	Підготовка та написання першого розділу	26.09.2018 – 15.10.2018	
4	Підготовка та написання другого розділу	16.10.2018 – 19.12.2018	
5	Підготовка та написання третього розділу	20.12.2018 – 11.02.2019	

6	Підготовка та написання четвертого розділу	12.02.2019 – 22.04.2019	
7	Написання анотації, вступу та висновків	23.04.2019 – 13.05.2019	
8	Виправлення зауважень	14.05.2019 – 17.05.2019	
9	Оформлення дипломної роботи	18.05.2019 – 07.05.2019	
10	Здача оформленої роботи на кафедру	12.06.2019	
11	Захист дипломної роботи	18.06.2019	

Студент

(підпис)

_____ Горовий К.В. _____

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

_____ О.В.Коржик _____

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота містить основну частину на 51 аркушах, 41 ілюстрацій.

Метою роботи є вимірювання шумових характеристик малогабаритних повітряних об'єктів.

Об'єктом дослідження є: процес вимірювання шумових характеристики малогабаритних повітряних об'єктів.

Предметом дослідження є: методика проведення вимірювання шумових характеристики малогабаритних повітряних об'єктів та їх подальший аналіз.

Результатом роботи є:

- вимірювання шумових характеристик у лабораторних умовах;
- вимірювання шумових характеристик у натурних умовах;
- аналіз отриманих вимірів.

Галузь застосування: акустичні вимірювання

Ключові слова: *інтенсивність, повітряний шумопеленгатор, фаза, амплітуда, гармоніка, спектр частот.*

ANNOTATION

Thesis contains the main part of 51 sheets, 41 illustrations.

The purpose of the work is to measure the noise characteristics of small-sized aerial objects.

The object of the study is: the process of measuring the noise characteristics of small-sized aerial objects.

The subject of the study is: a method for measuring the noise characteristics of small-sized aerial objects and their further analysis.

The result of the work is:

- measurements of noise characteristics in laboratory conditions;
- measurements of noise characteristics in the field;
- analysis of the measured measurements.

Field of application: Acoustic measurements

Key words: *intensity, air noise detector, phase, amplitude, harmonic, spectrum of frequencies.*

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ, АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ, ФОРМУЛЮВАННЯ МЕТИ ТА ПОСТАНОВКА ОСНОВНИХ ЗАДАЧ АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ	11
Вступ.....	11
1.1 Актуальність атестаційної роботи.....	11
1.2 Мета і основні задачі роботи	12
1.3 Аналітичний огляд літературних джерел	12
Висновки по розділу	15
РОЗДІЛ 2. ПІДГОТОВКА ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ	16
Вступ.....	16
2.1 Загальний устрій вимірювального стенду	17
2.2 Програмне забезпечення що використовується	19
2.3 Калібрування системи перед проведенням вимірювань	34
Висновки по розділу	35
РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ	36
Вступ.....	36
3.1 Метод та схема проведення лабораторних вимірювань	36
3.2 Огляд результатів	38
Висновки по розділу	40

РОЗДІЛ 4. ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ В НАТУРНИХ УМОВАХ....	41
Вступ.....	41
4.1 Метод та схема проведення натурних вимірювань.....	41
4.2 Огляд результатів	43
Висновки по розділу	45
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47
ДОДАТОК.....	49

ВСТУП

На сьогодні є потреба у вирішенні проблеми вимірювання шумових характеристик малогабаритних повітряних об'єктів у зв'язку з розвитком індустрії безпілотних літальних апаратів. Більш того, дані про акустичні характеристики безпілотних літальних апаратів є досить незначними. Якщо інформація про конструкції БПЛА є достатньо поширеною [1], то інформація щодо шумових характеристик малогабаритних літальних апаратів майже не існує.

В зв'язку з цим, задача вимірювання основних характеристик акустичного поля малогабаритних повітряних об'єктів є актуальною. Це, власне, і визначає мету роботи.

Ступінь вивченості теми.

На даний момент відомості щодо шумових характеристик майже відсутні, що є проблемою при прогнозуванні чи аналізі отриманих результатів пеленгації БПЛА різних типів при розробці чи використанні пристроїв пеленгування повітряних об'єктів.

Ціль роботи

Ціллю роботи є:

- вимірювання шумових характеристик БПЛА у лабораторних умовах;
- вимірювання шумових характеристик БПЛА у натурних умовах;
- представлення та аналіз отриманих результатів.

Актуальність роботи

Задача вимірювання шумових характеристик малогабаритних повітряних об'єктів обумовлена потребою первинного виявлення та спостереження за допомогою засобів систем шумопеленгації малогабаритних повітряних об'єктів.

При проведенні вимірювань шумових характеристик використовувалась програма, попередньо розроблена у програмному пакеті National Instruments. Вона дозволяє більш наочно отримувати та аналізувати результати вимірювань шумових характеристик повітряних об'єктів. Тому актуальність даної роботи не викликає сумнівів.

РОЗДІЛ 1

ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ, АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ, ФОРМУЛЮВАННЯ МЕТИ ТА ПОСТАНОВКА ОСНОВНИХ ЗАДАЧ АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Вступ

На сьогодні є потреба у вирішенні проблеми вимірювання шумових характеристик малогабаритних повітряних об'єктів у зв'язку з розвитком індустрії безпілотних літальних апаратів. Більш того, дані про акустичні характеристики безпілотних літальних апаратів є досить незначними. Якщо інформація про конструкції БПЛА є достатньо поширеною [1], то інформація щодо шумових характеристик малогабаритних літальних апаратів майже не існує.

В зв'язку з цим, задача вимірювання основних характеристик акустичного поля малогабаритних повітряних об'єктів є актуальною. Це, власне, і визначає мету роботи.

1.1 Актуальність атестаційної роботи

Актуальність обумовлена необхідністю отримання та аналізу даних щодо шумових характеристик малогабаритних повітряних об'єктів.

1.2 Мета і основні задачі роботи

Мета даного наукового дослідження є аналіз вимірних шумових характеристик за допомогою програми реалізованої в пакеті Lab View. Щоб в дипломній роботі досягти цієї мети слід вирішити такі завдання:

1. Провести підготовку до практичних вимірювань.
2. Провести вимірювання у лабораторних умовах.
3. Провести вимірювання у натурних умовах.
4. Провести аналіз та надати отримані результати.

1.3 Аналітичний огляд літературних джерел

Інтенсивність звуку – є фізичною величиною, яка характеризує швидкість потоку звукової енергії в певній точці звукового поля. Рівень інтенсивності звука L_1 дБ визначають відносно порогового значення $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² за формулою

$$L_1 = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (1)$$

Зазначимо, що $I_0 = \frac{p_0^2}{\rho c}$, де ρc - хвильовий опір, який для повітря дорівнює $416 \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{с}$.

Коли розраховується рівень звукового тиску L слід керуватися правилами: при різниці двох джерел більшої за 10 дБ, джерелом що менше можна знехтувати; еквівалентом зміни звукового тиску на 5 дБ є зміна в 3 рази рівня інтенсивності звуку; еквівалентом зміні рівня звукового тиску на 10 дБ є в два рази зміна гучності, для 15 дБ еквівалентом буде в три рази і т.д.

Для знаходження сумарного рівня кількох джерел при однаковом рівні звукового тиску буде:

$$L_{\Sigma} = L + 10 \lg n, \quad (2)$$

Де: L - є рівнем тиску для одного джерела; n - кількість джерел.

Приривному тиску у кількох джерел $L_i, i = 1, 2, \dots, n$, буде відповідати:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + \dots 10^{0.1L_n}). \quad (3)$$

Звуковий тиск та інтенсивність звуку являються точковими характеристиками, звукова потужність немає впливу від таких факторів, тому являє собою унікальну міру для шумності.

Основи обробки прийнятих акустичних сигналів

Детерміновані акустичні сигнали змінюються при проходженні АК. Як результат амплітуда, фаза, форма огинаючої та інші параметри прийнятого сигналу мають суттєві відмінності від характеристик зондуючого сигналу. При розвсюдженні в середовищі хвилі схильні до деформування, а параметри таких хвиль являють собою випадкові величини. Для обробки прийнятих сигналів найбільш поширені часовий, частотний та кореляційний методи. Часова обробка зводиться до встановлення проміжку часу в якому може з'явитись сигнал, та аналізу його амплітуди та форми огинаючої. Частотна обробка зводиться до отримання частотного спектру сигналу та аналізу його особливостей з застосуванням статистичної обробки для сигналів отриманих в різні моменти часу. Кореляційна обробка встановлює зв'язок між зондуючим та ехо сигналами в активній локації або прийнятими сигналами в задачах пасивної локації.

Найбільш розповсюдженим інструментом для спектрального аналізу як неперіодичних так і періодичних сигналів [11] є пара перетворень Фур'є:

$$\begin{aligned} \dot{X}(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt; \\ x(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{X}(\omega) e^{j\omega t} d\omega; \end{aligned} \quad (13)$$

Комплексний спектр представимо у вигляді: $\dot{X}(\omega) = \left| \dot{X}(\omega) \right| e^{-j\varphi(\omega)}$.

Модуль комплексної спектральної функції $\dot{X}(\omega)$ називається амплітудним спектром, а її аргумент $\varphi(\omega)$ - фазовим спектром. Пряме перетворення Фур'є ставить у відповідність сигналу, заданому в часі, його спектральну функцію. Перетворення Фур'є є взаємно однозначним, тому інформація з часової області трансформується у частотну без втрат. Вище, при дослідженні методів модуляції, сигнали представлялись у вигляді рядів Фур'є. Коефіцієнти такого ряду є не чим іншим як амплітудно частотним спектром періодичного коливання.

Порівнюючи спектральні компоненти зонduючого та прийнятого сигналів можна отримати інформацію про поглинаючі характеристики АК, оцінити геометрію та форму об'єкту локації, визначити швидкість його руху. В задачах пасивної локації (діагностиці механізмів, виявленні та пеленгуванні об'єктів) використовують вузько смуговий частотний аналіз разом із статистичною обробкою. Кореляційний метод обробки направлений на визначення зв'язку між випроміненими та прийнятими сигналами в задачах активної та пасивної локації. Математичною мірою зв'язку процесів є кореляційна функція (КФ), що характеризує зв'язок між сигналами розділеними інтервалом часу.

Кореляційний аналіз сигналів зводиться до визначення залежності КФ від часу затримки τ одного із сигналів. Чим більше значення приймає функція, тим більша подібність сигналів. Математичні співвідношення, що визначають КФ приведені нижче:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot x(t - \tau) dt. \quad (14)$$

Для порівняння двох сигналів кореляційну функцію (ВКФ):

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(t) \cdot x_2(t - \tau) dt. \quad (15)$$

ВКФ дозволяє знайти взаємний спектр сигналів - взаємна спектральна густина потужності сигналів $x_1(t)$ та $x_2(t)$, $X_{12}(\omega)$ використавши перетворення Фур'є:

$$\dot{X}_{12}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{12}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (16)$$

Висновки по розділу

В першому розділі:

- визначено і досліджено актуальність та мета роботи тобто імітаційне моделювання тракту вимірювання інтенсивності шумоподібних сигналів;
- окреслені завдання які потрібно вирішити, а саме розглянути принцип дії інтенсиметрів та обґрунтувати їх використання;
- розглянуто теоретичну інформацію по даній темі та зроблені певні висновки щодо майбутньої реалізації інтенсиметра в програмному середовищі LabView.

РОЗДІЛ 2

ПІДГОТОВКА ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Вступ

Для проведення вимірювань було використано програмне забезпечення (шумопеленгатор), розроблене в програмному пакеті LabView, звукову карту та 5 мікрофонів.

LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) являє собою програмне середовище компанії National Instruments, використовується для спрощення та автоматизації лабораторного обладнання.

Процес освоєня LabVIEW на відміну від різних мов програмування, через те що користувач працює не з рядками тексту, а з віртуальними блоками, в яких легко задаються потрібні параметри.

Переваги LabVIEW

- Простий графічний процес програмування
- Величні можливості для збору та обробки даних
- Велика база драйверів
- Можливості інтерактивної генерації коду
- Велика кількість прикладів і шаблонів
- Швидкодія зроблених програм
- Підтримка усіх існуючих операційних сисъем

У LabVIEW є можливість поєднання з продуктами інших компаній, що значно розширює можливості користувача.

2.1 Загальний устрій вимірювального стенду

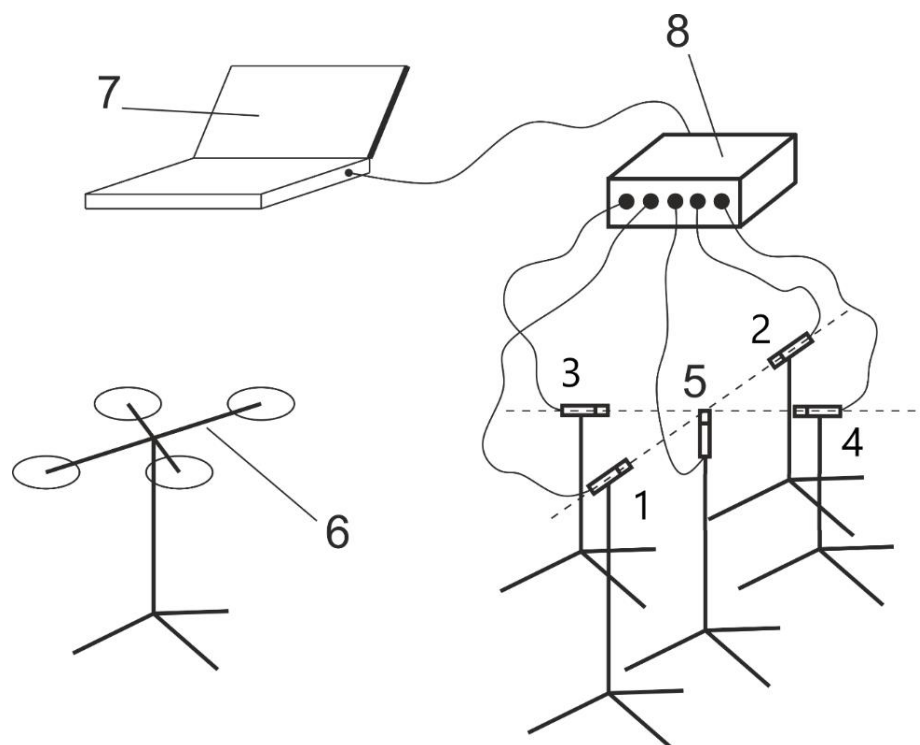


Рис. 1

(1-5 – мікрофони, 6 – об'єкт вимірювання,
7 – персональний комп'ютер, 8 – звукова карта)

Вимірювальний стенд, що використовується для проведення вимірювань, складається з акустичної антени, що реалізована п'ятьма мікрофонами, звукової карти та програмного забезпечення на персональному комп'ютері.

Мікрофони встановлюються навхрест згідно з рис. 1 на висоті 1,2 м, на відстані 0,5 м. один від одного так, щоб мікрофон №3 знаходився попереду на акустичні вісі та щоб мікрофони 1-4 були направлені назовні.

В якості звукової карти використовується восьмиканальна модель Tascam US-16x08 (Рис.2,3).

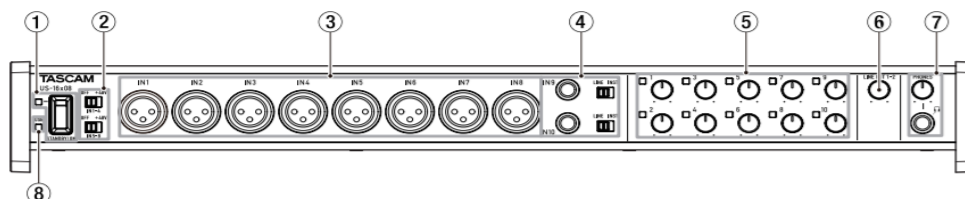


Рис. 2

Мікрофони під'єднуються у роз'єми IN1 – IN5 (1 мікрофон під'єднується у роз'єм IN1, 2 мікрофон – у IN2 і т.д.).

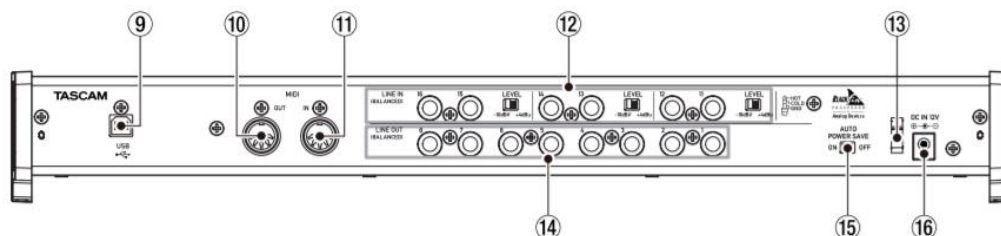


Рис. 3

Звукова карта з'єднується з персональним комп'ютером через комплектний USB кабель (Рис.3, роз'єм №9). Живлення для звукової карти подається на роз'єм №16 (Рис.3).

2.2 Програмне забезпечення що використовується

Для обробки отриманих сигналів використовується програма для виявлення та пеленгування малогабаритних повітряних об'єктів, яка реалізована у програмному середовищі LabVIEW.

Алгоритм виявлення реалізовано з використанням лінійної дискретної акустичної антени яка забезпечує прийом акустичних сигналів, пристрою спряження (система АЦП) та програм обробки інформації на основі пакету LabView на персональному комп'ютері (ПК) [13].

При програмуванні використовувалось три варіанти систем виявлення, а саме система що базується на використанні вузькосмугового спектру (FFT), на вимірюванні інтенсивності та на аналізі взаємного спектру. Усі три варіанти ґрунтуються на використанні особливостей акустичного поля і значно підвищують ефективність системи.

Робота використовуваного шумопеленгатора побудована на пеленгації рівносигнальною зоною, тобто за допомогою однонаправлених мікрофонів вимірюються акустичні сигнали, далі знаюче яке є амплітудне відношення на кожному з мікрофонів та кут між їхніми максимумами визначаються кутові координати шуканого об'єкта.

Спершу отримані сигнали обробляються трактами виявлення (блок 8), поява інформації про максимальну частоту сигналу на тракті взаємного спектру являється початком спрацювання тракту пеленгування .

Вхідний сигнал з усією інформацією про його параметри поступає в блоки фільтра високих частот 2.10-2.11. Результат далі обраховується для знаходження курсового кута завдяки блокам визначення фази та розрахунку результуючого кута.

Блоки розрахунку результуючого кута в програмному середовищі сформовані як зустрічне включення мікрофонів 4 мікрофонів та одного центрального (всенаправленого), які формують собою власне акустичну антену (метод рівносигнальних зон).

Для розрахунку фаз для двох каналів використовується така сама схему. Порівнюючи зсув фаз на 4 мікрофонах зсувом на п'ятому мікрофоні (центральному) далі отримана інформація поступає на блок визначення курсового кута (9.11). Отримана з блоку 9.11 інформація відображається на панелі користувача, а саме у вигляді кругової індикції з цифровим повторенням результату.

Основні блоки 1-8:

Simulate Signal Express VI – блок симуляції сигналу 1 1.1 – виконує функцію першого мікрофону. Частоту та амплітуду модельованого сигналу, а також амплітуду фоновому шуму задаємо з панелі користувача (Front Panel) . В даному блоці задаємо:

- частота сигналу $f_0 = 350$ Гц
- амплітуда сигналу 1.4
- амплітуда фоновому шуму в діапазоні $0 \div 1$

Ці параметри можна змінювати на панелі користувача. Вони однакові та задаються одночасно для блоків симуляції два 1.2 та три 1.3.

Блок симуляції сигналу 4 1.4 – блок симуляції активної завади. Використовується для моделювання активної завади на частотах роботи пристрою.

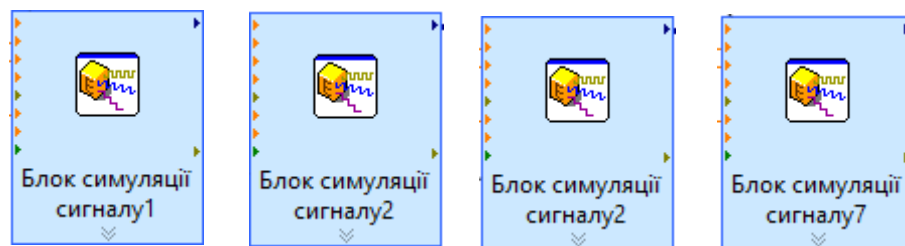


Рис. 5 simulate signal express

Bandpass Filter VI – блок-еквівалент смугового фільтру.

Блоки 2.1 та 2.2 використовуються як смугові фільтри з еліптичним вікном:

- верхня межа – $f_s = 1000$ Гц
- нижня межа – $f_n = 125$ Гц

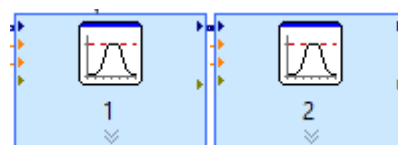
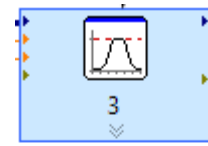


Рис. 6 Bandpass Filter VI

Такі блоки як 2.3 – 2.5 являють собою тритинооктавні фільтри, що використовуються як смугові фільтри з еліптичним вікном:

2.3 – перший тритинооктавний фільтр:

- верхня межа – $f_{\epsilon} = 250 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 315 \text{ Гц}$



2.4 – другий тритинооктавний фільтр:

- верхня межа – $f_{\epsilon} = 315 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 397 \text{ Гц}$



2.5 – третій тритинооктавний фільтр:

- верхня межа – $f_{\epsilon} = 397 \text{ Гц}$
- нижня межа – $f_n = 500 \text{ Гц}$



Рис. 7 Тритинооктавні фільтри

Є можливість змінювати межі цих фільтрів на панелі користувача.

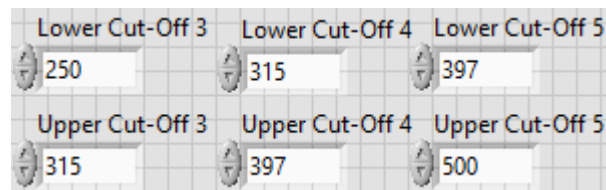


Рис. 8 Фрагмент панелі з параметрами тритинооктавних смугових

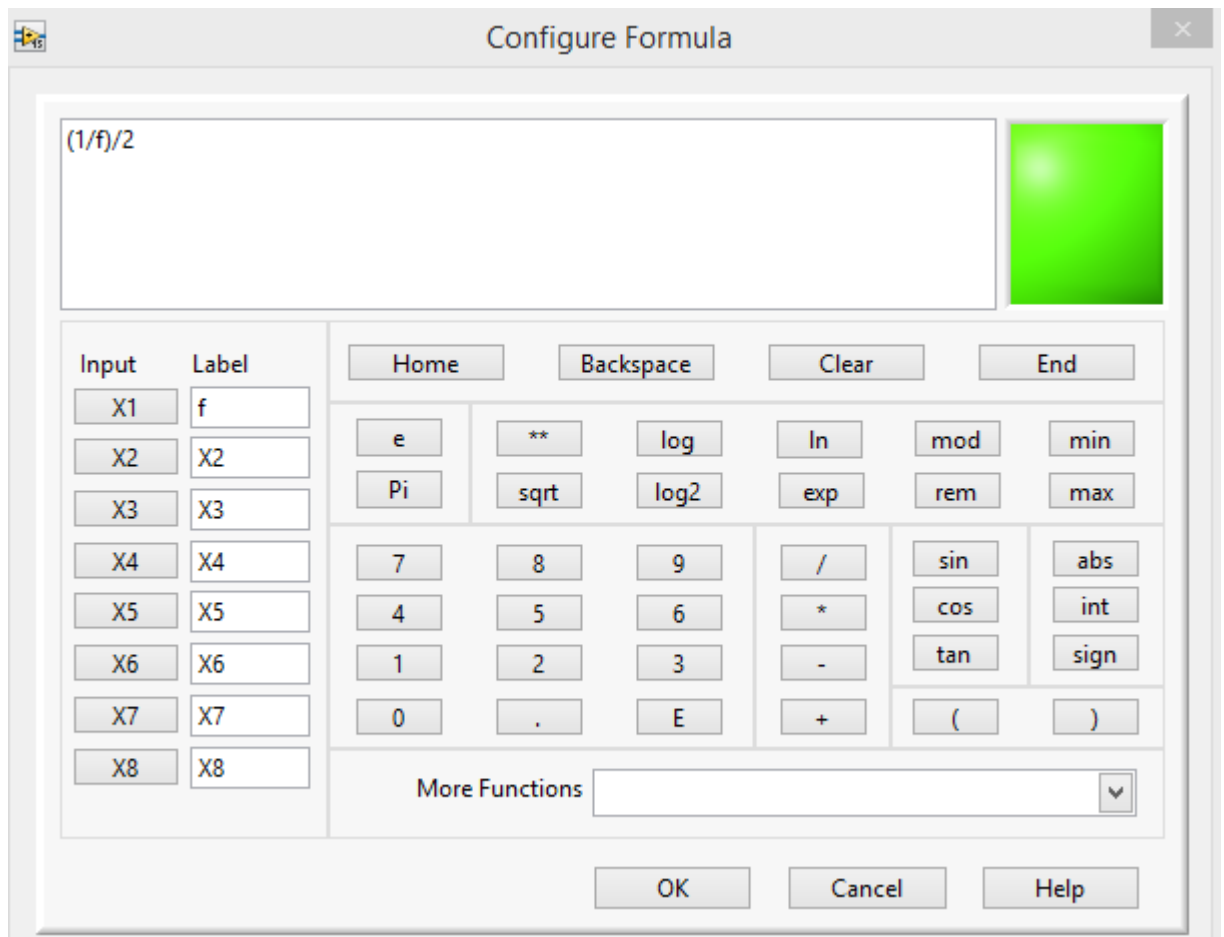


Рис. 10 Блок розрахунку часових затримок (панель вводу)

За допомогою блоків 5.2-5.4 математичних формул можна розраховувати рівні інтенсивностей. Формула, що використовується:

$$L_t = 10 \cdot \log \left(\frac{X}{10E - 12} \right) \quad (15)$$

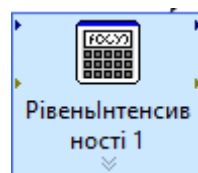


Рис. 11 Блок розрахунку рівня інтенсивності (піктограма)

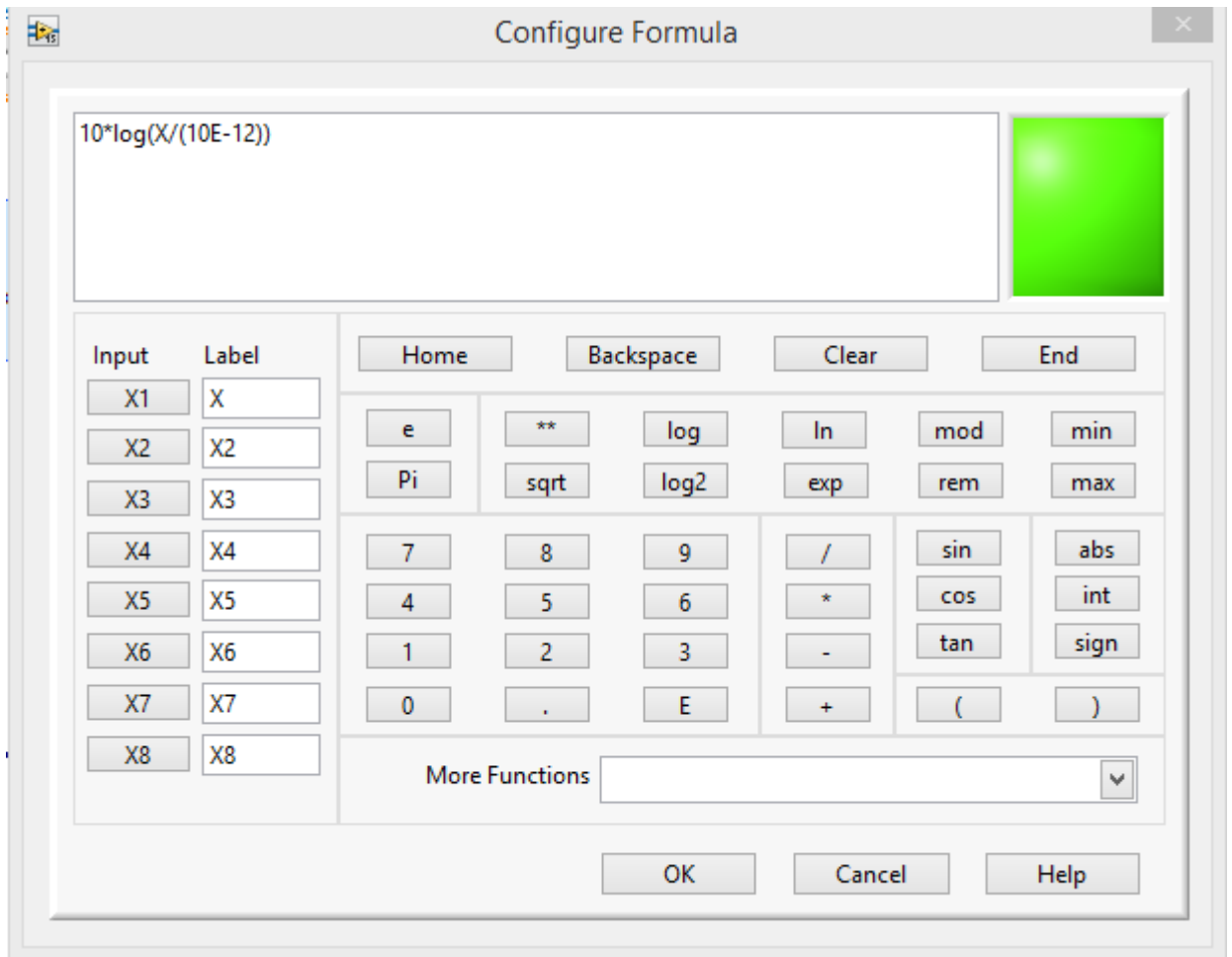


Рис. 12 Блок розрахунку рівня інтенсивності (панель вводу)

Spectral Measurements Express VI використовується для відображення спектрів вимірювань і він ґрунтується на швидкому перетворенні Фур'є (FFT).

Блоки 6.1 – 6.3 використовуються для відображення спектру сигналу впевнюємось, що фільтри 2.3 – 2.5 працюють в заданому діапазоні фільтрації.

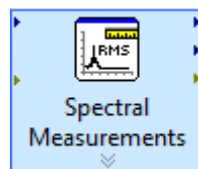


Рис. 13 Блок представлення спектру вимірювань

На Рис. 14 представлені графіки з виходів блоків 6.1 – 6.3

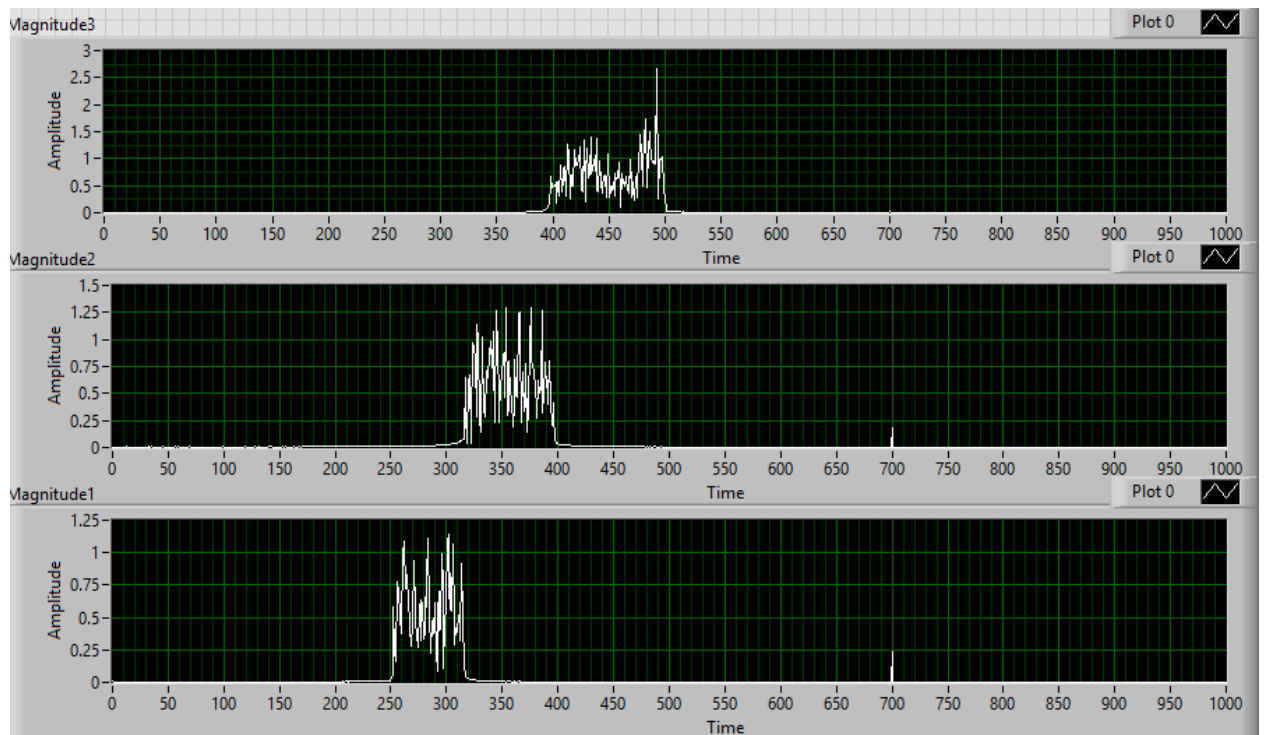


Рис. 14 Графіки з відображенням спектрів шумового процесу що присутні на виходах трьох каналів (частотних каналів)

While Loop – блок, що повторює операції, які задані в середні. Даний блок виконує операції, хоча б один раз, в залежності від кількості ітерацій.



Рис. 15 Символьне відображення функції «While Loop»

За допомогою блоків 7.1 -7.3 – блоків відображення рівня інтенсивності на виході фільтрів 6.1 – 6.3 відповідно.

Build XY Graph Express VI – блок за допомогою якого будемо графік рівня інтенсивності.

Level Intensity – блок індикації рівня інтенсивності.

Дані блоки об'єднані за допомогою «While Loop» для формування індикатора на панелі користувача (Front Panel).

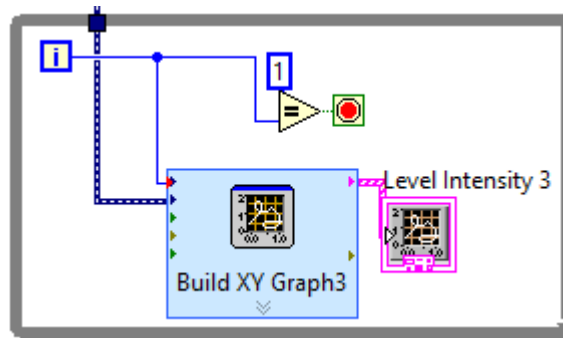


Рис. 16 Блок формування індикатора рівня інтенсивності

Робота цього блоку потрібна для відображення компактного індикатора. Використовуючи функції «While Loop» обмежуються графіки для рівнів інтенсивності, що будуються в блоці Level Intensity рис. 17



Рис. 17 Блок графічного відображення

Build XY Graph – блок формування двомірної системи координат в яку поступають дані. Координата OY напруга рівня інтенсивності, OX одиниця ітерації «While Loop», тобто кількість виконаних повторів зняття інформації.

Case Structure – блок, що виконує одну з умов (True/False) в залежності від поданої на вхід інформації.

На блоці 8 реалізована порогова обробка блоку сигналізації порогу. Задаючи на панелі користувача поріг за допомогою блоку вводу числової інформації рис.19, перевіряємо умову перевищення значення порогу рис.20. Якщо значення перевищує поріг спрацьовує звуковий сигнал та загорання зеленої лампи рис.21 на панелі користувача .

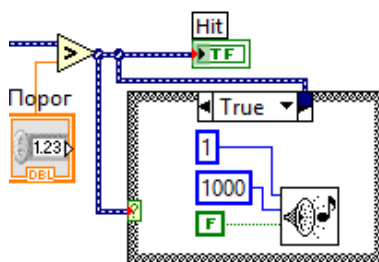


Рис. 18 Порогова схема

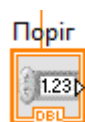


Рис. 19 Блоку вводу числової інформації



Рис. 20 Блок порівняння



Рис. 21 Сигнальна лампа спрацювання порогової схеми

Якщо значення Level Intensity не перевищує введений попередньо поріг, то на виході блока порівняння рис. 19 генерується команда «False», що виключає спрацювання порогу.

Якщо значення Level Intensity перевищує введений попередньо поріг, то на виході блока порівняння рис. 19 генерується команда «True», що активує схему сигналізації рис. 22

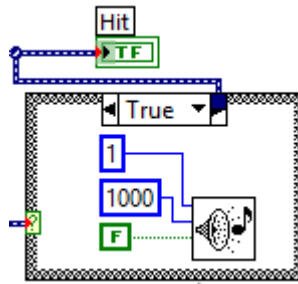


Рис. 22 Схему сигналізації

Блоки сигналізації являють собою сигнальні лампи на панелі користувача та «Веер VI» - блок що відповідає за звукову індикацію спрацювання.

Допоміжні блоки 9.1-9.11:

Multiply Function використовується в даному випадку як підсилювач.



Рис.23 Multiply Function

За допомогою блоків 9.1-9.4, імітуючи роботу підсилювача, підсилюємо сигнал для більш зручної подальшої обробки. У випадку 9.1-9.3 коефіцієнт підсилення 10.

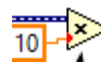


Рис. 24 Multiply Function з коефіцієнт підсилення 10

У випадку 9.4 коефіцієнт підсилення 100, це обумовлено тим, що у сигналу завади має бути більша амплітуда ніж корисного сигналу.

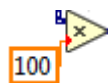


Рис. 25 Multiply Function з коефіцієнт підсилення 100

У випадку 9.6 виступає блоком перемножувачем прямого каналу та каналу різниці.

Блок 9.12 використовується в ролі диференційного підсилювача. На його вхід подаються підсилені сигнали з блоків 1.1 та 1.2 і відбувається віднімання одного від іншого.



Рис. 26 Subtract Function диференційний підсилювач підключеного зворотньо

Блок 9.7 пристрій додавання, що забезпечує утворення суміші «сигнал+шум»



Рис. 27 Add Function

Блок 9.8 виконує функцію порівняння сигналів для роботи порогової схеми.



Рис. 29 Greater? Function

Блоки 9.9 - 9.11 виконють функцію перевірки встановлення визначеного значення для правильної побудови індикаторів інтенсивності.



Рис. 30 Equal? Function

2.2 Панель користувача (Front Panel)

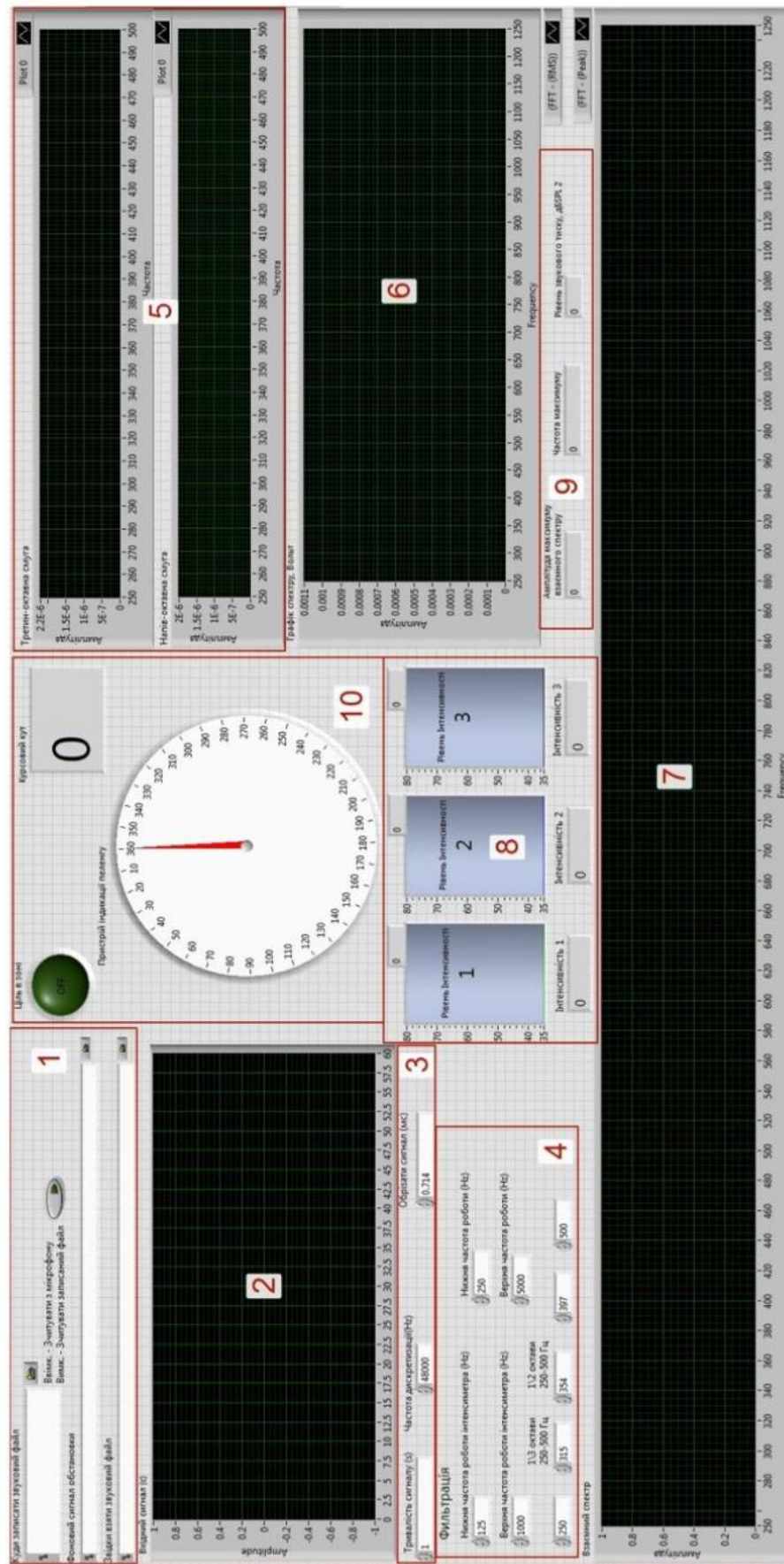


Рис. 31 Панель користувача

- П.1 - поля директорій; П.2 - графік відображення вхідного сигналу;
- П.3 - вхідні параметри сигналу; П.4 – блок фільтрації;
- П.5 - блок спектральної густини потужності;
- П.6 – блок відображення графіка спектру;
- П.7 – блок відображення взаємного спектру;
- П.8 – блок відображення рівнів інтенсивності;
- П.9 – блок з вихідними параметрами сигналу;
- П.10 – блок відображення результатів пеленгації.

Панель користувача (Front Panel) по суті є інтерфейсом керування скомпільованої програми в LabView і дозволяє зручно змінювати параметри використовуваних блоків, графічне оформлення, тощо.

На блоках графічного відображення 1.1-1.3 є можливість спостерігати за вхідним сигналом та його параметрами, формою, наявністю шуму, тощо.

На блоках графічного відображення, що називаються Прямий канал та Канал різниці можна буде спостерігати різницю фаз перед множенням каналів, що виконує основну передумову: різниця фаз має бути рівна 90 градусам (градієнт тиску і коливальна швидкість).

Задання вхідних даних для імітації сигналів відбувається за допомогою блоків вводу числової інформації.

Блок з назвою Фільтрація дає користувачу змогу змінювати робочу смугу частот через зміну верхніх та нижніх границь тритинооктавних смугових фільтрів.

Інші блоки вводу числової інформації відповідають за частоту та амплітуду вхідних сигналів, а саме корисної складової та завади. Є можливість встановлення значення амплітуди спрацювання порогової схеми.

2.3 Калібрування системи перед проведенням вимірювання

Калібрування проводиться за допомогою пістонфону. Кожен приймач (мікрофон) по чергово з'єднується з пістонфоном. На панелі налаштування звукової карти (на персональному комп'ютері, Рис. 34) кожен канал повинен демонструвати однаковий рівень сигналу. В разі різних результатів, на кожному каналі підкручуються тумблери доки рівні у всіх каналах не стануть рівними.

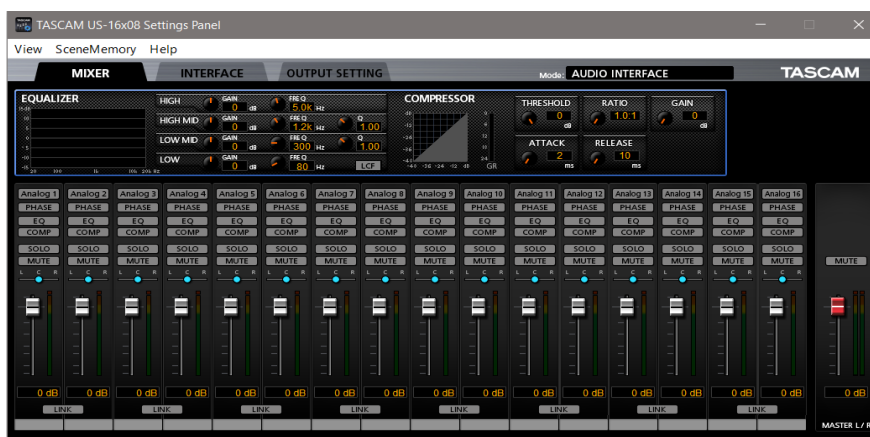


Рис. 32 Панель налаштування параметрів звукової карти

Висновки по розділу

В другому розділі:

- розглянуто будову вимірювального стенду;
- окреслена схема та описана робота за цією схемою програмного забезпечення;
- описано калібрування вимірювального стенду.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ У ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Вступ

Після проведення підготовчої роботи спершу вимірювання проводяться у лабораторних умовах.

3.1 Метод та схема проведення лабораторних вимірювань



Рис.1 Квадрокоптер для випробувань

Для вимірювань у лабораторних умовах було використано саморобний чотирьох гвинтовий квадрокоптер з довжиною гвинта 46см і двигунами Rctimer 5010/14 360KV Multicopter Brushless.

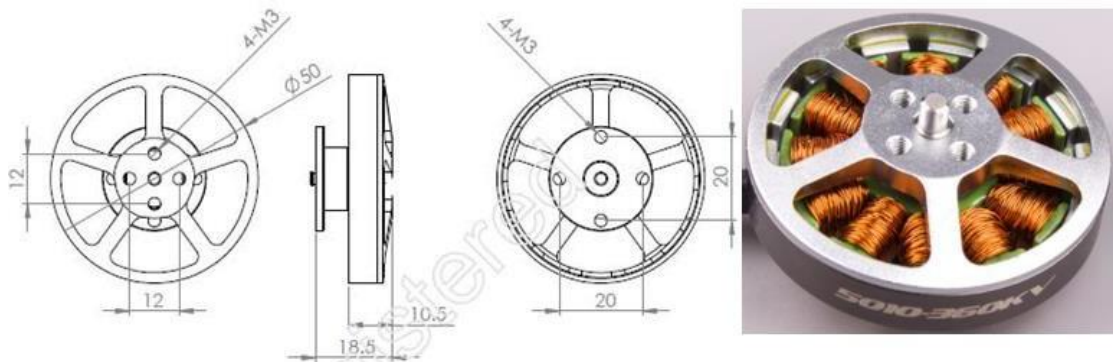
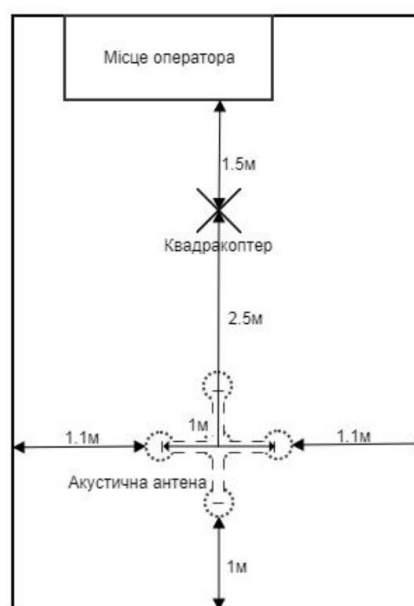


Рис.2. Двигун Rctimer 5010/14

Вимірювання шумових характеристик саморобного квадрокоптера відбувалось у 222 кімнаті 12 корпусу НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Ця кімната є безеховою. Її розміри становлять 6.9х4.3х3.3м. При проведенні досліджень температура повітря складала 18 °С.

Вимірювальний стенд складався з антени з 5 мікрофонів, звукової карти та персонального комп'ютера з програмним забезпеченням. Квадрокоптер був закріплений навпроти вимірювального стенду на відстані 2,5м. Схема вимірювання приведена на рисунку 3.

Рис. 3 Схема вимірювання



Вимірювання проводились в три етапи:

1. проводився запис фонового шуму (в даному випадку його не було);
2. проводились записи роботи квадрокоптера на низьких обертах;
3. проводились записи роботи квадрокоптера на середніх обертах.

На протязі всіх вимірювань квадрокоптер не змінював свого положення в просторі.

Було проведено 10 записів сумарних шумів квадрокоптера, далі будуть приведені результати декількох з них. При цьому квадрокоптер був закріплений на висоті 1,2 м над підлогою.

3.2 Огляд результатів

В результаті вимірювання шумових характеристик роботи квадрокоптера в лабораторних умовах ми отримали такі результати:

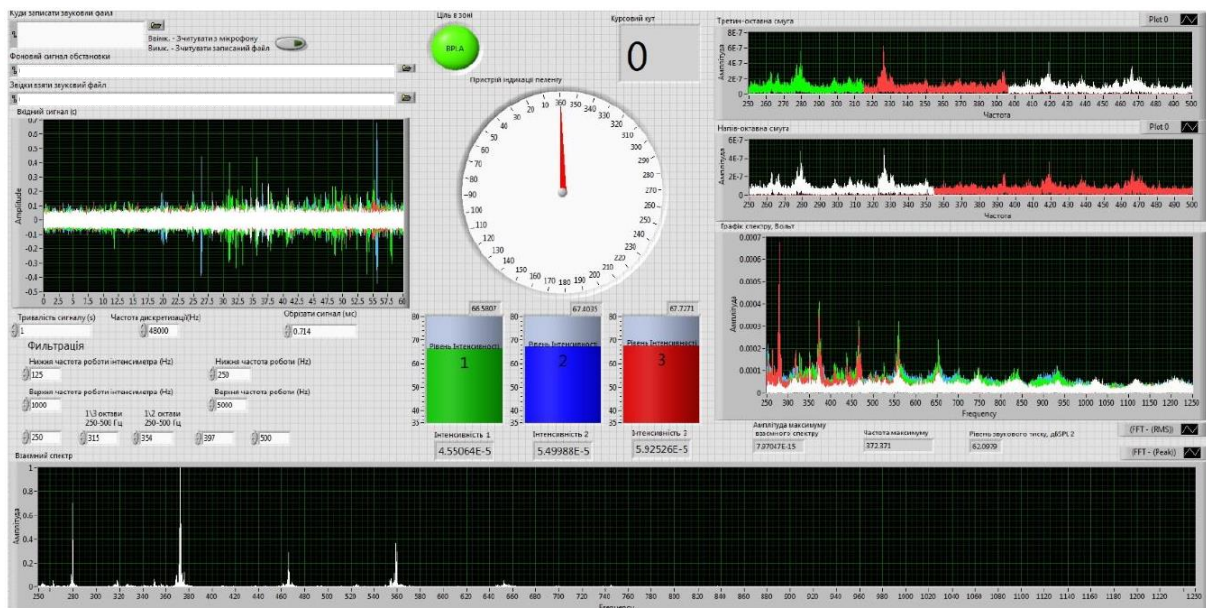


Рис. 4 Результат роботи квадрокоптера на малих обертах

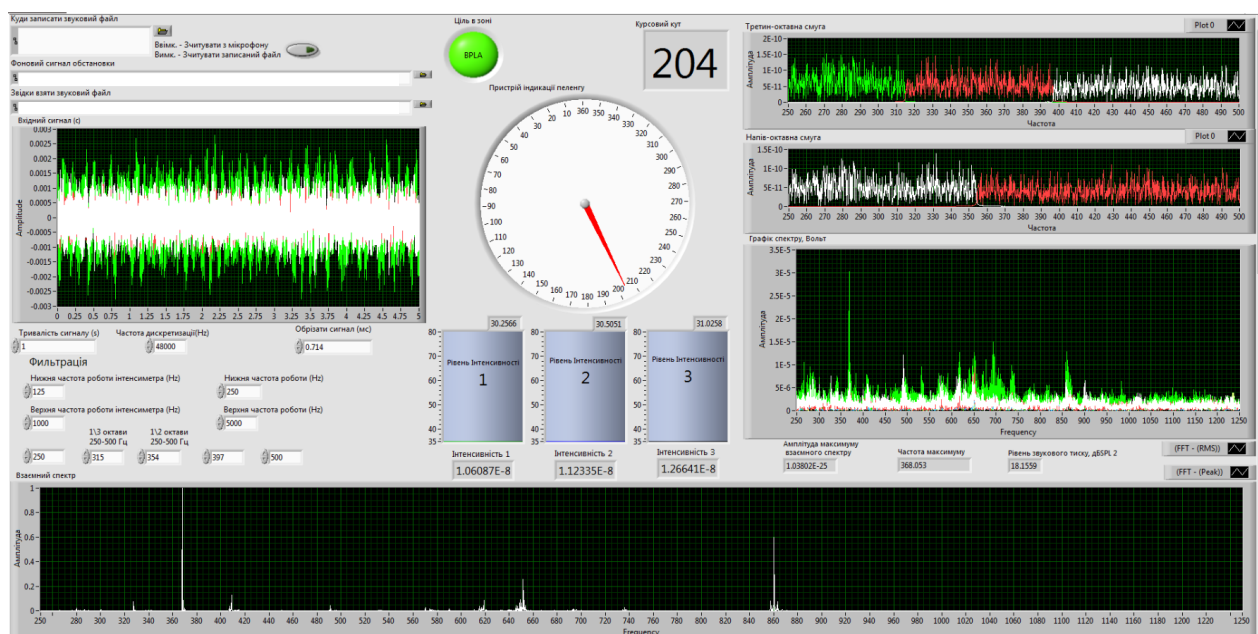
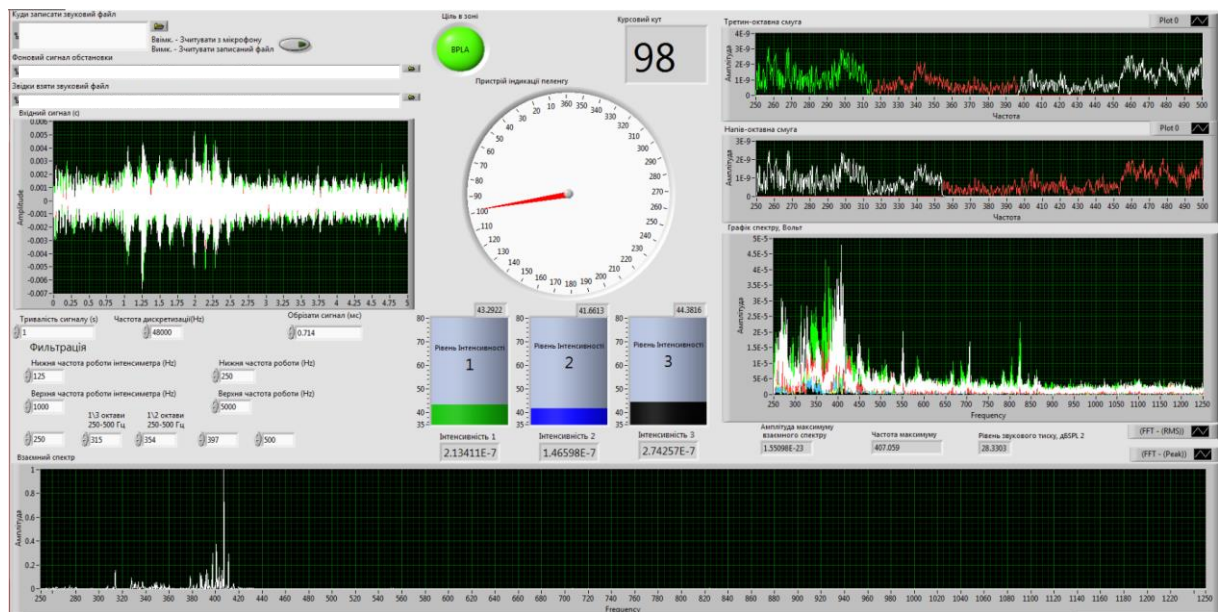


Рис. 5 Результати роботи квадрокоптера на середніх обертах.

По результатам вимірювання на малих обертах ми можемо спостерігати шість сплесків спектру сигналу в діапазоні 250-1250 Гц на частотах 270 Гц, 370 Гц, 470 Гц, 560 Гц, 650 Гц, 750 Гц. Отриманий сумарний рівень випромінювання становив $L_{sn} = 62 \text{ dB SPL}$ на відстані $r_s = 1 \text{ м}$ від об'єкту.

Щодо результатів вимірювання на середніх обертах картина неоднозначна, що пов'язано з явищем інтерференції через малий об'єм та недосконалість поглинаючих поверхонь у використовуваній заглушеній камері.

Висновки по розділу

В третьому розділі:

- розроблено схему лабораторних та напівнатурних вимірювань шумів БПЛА в різних режим роботи;
- було показано відповідність очікуваних результатів теоретичним положенням використаних методів пеленгування.

РОЗДІЛ 4

ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ В НАТУРНИХ УМОВАХ

Вступ

Після отримання лабораторних вимірювань в ідеалізованих умовах, проводимо натурні дослідження для того, щоб визначити шумові характеристики БПЛА в реальних умовах.

4.1 Метод та схема проведення натурних вимірювань



Рис.1 Квадрокоптер для випробувань

Для вимірювань у натурних умовах було використано квадрокоптер DJI Phantom 2.

Вимірювання проводилися позаду 12 корпусу КПП, у сонячну погоду. Температура складала 15 °С. Також були відчутні слабкі пориви вітру та незначні шуми від навколишніх дерев та проїжджаючих автомобілів.

Вимірювальний стенд представляв собою акустичну антену з п'ятьма мікрофонами, 8-ми каналну звукову карту та персональний комп'ютер з програмним забезпеченням. Мікрофони встановлювались на висоті 1,2 м над землею, покритою асфальтом, з антенною базою в 0,5 м.

Схема вимірювання приведена на рис. 2:

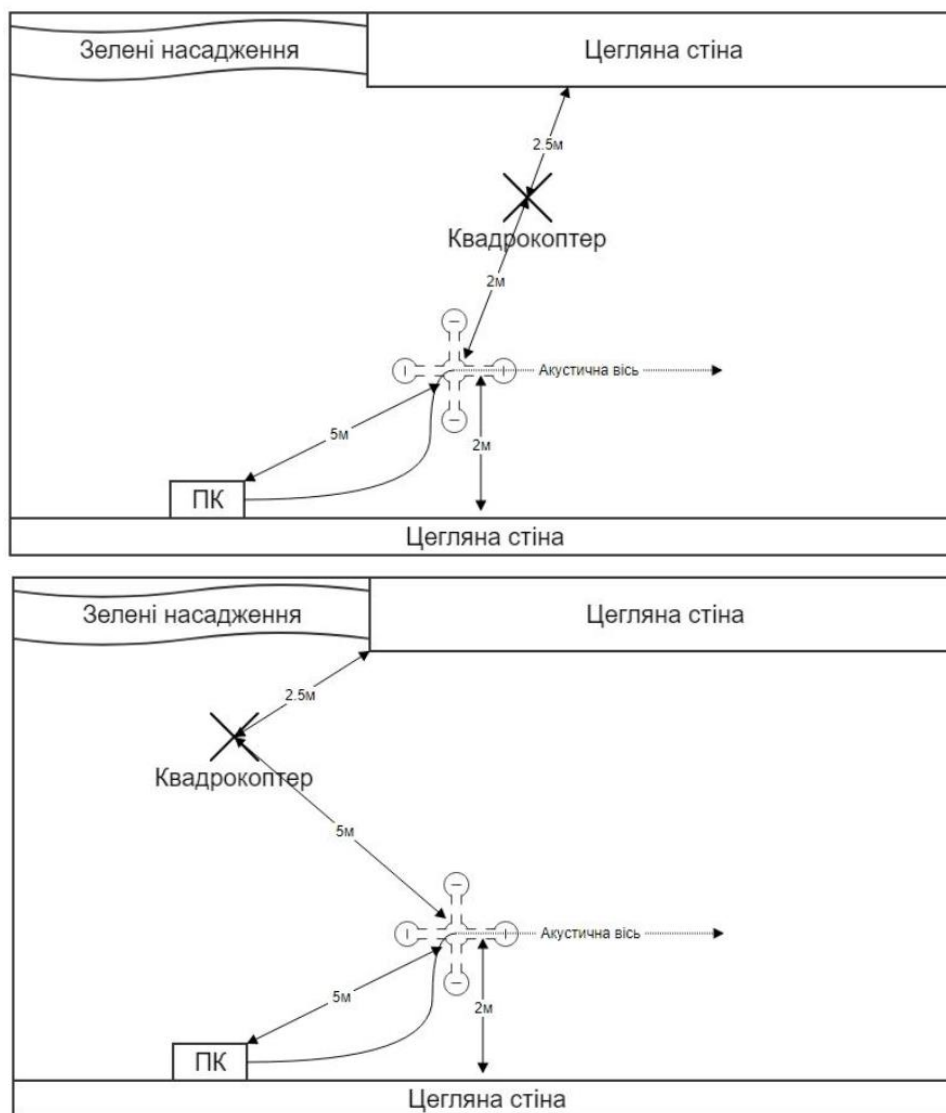


Рис. 2 Схема експерименту зі зміною положення квадрокоптера

Вимірювання квадрокоптера DJI Phantom 2 були проведені в декілька етапів:

- спершу проводився запис шумів навколишнього середовища (фону);
- далі велись записи зависаючого дрону на висоті приблизно 2 м в довільних ділянках навколишнього простору. Слід зазначити, що при цьому дрон трохи ризикав у повітрі через

дію вітру і при цьому майже не було відчутно зміни режимів роботи двигунів.

Під час проведення дослідів положення акустичної антени не змінювалось.

4.2 Огляд результатів

В результаті проведення вимірювань в натурних умовах було отримано такі результати:

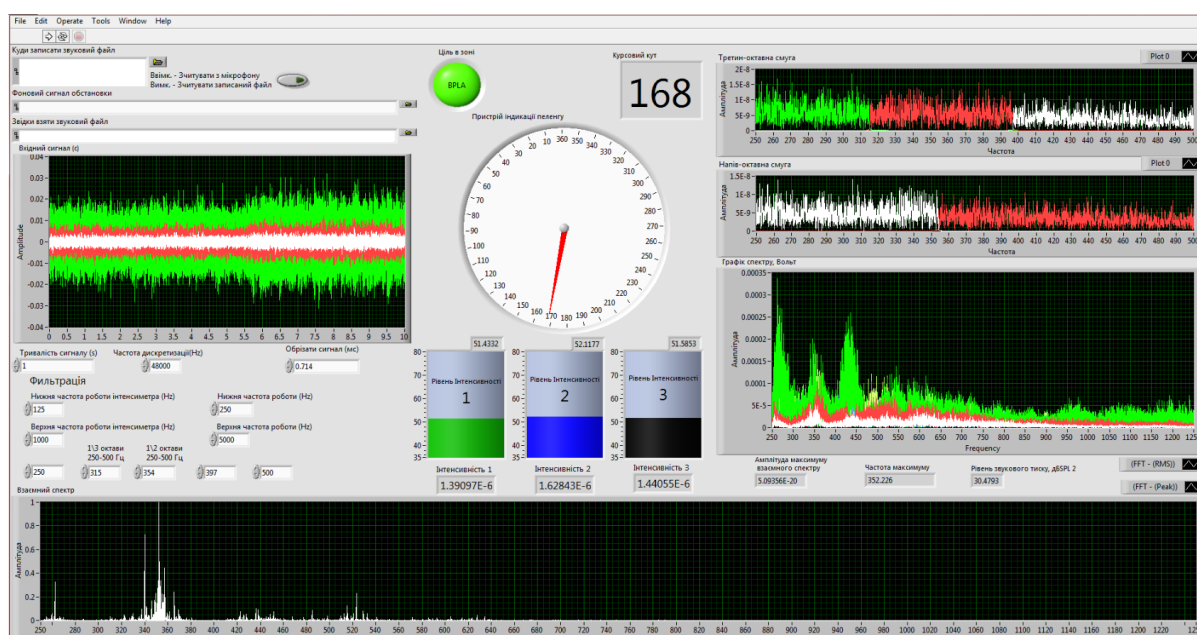


Рис. 3а

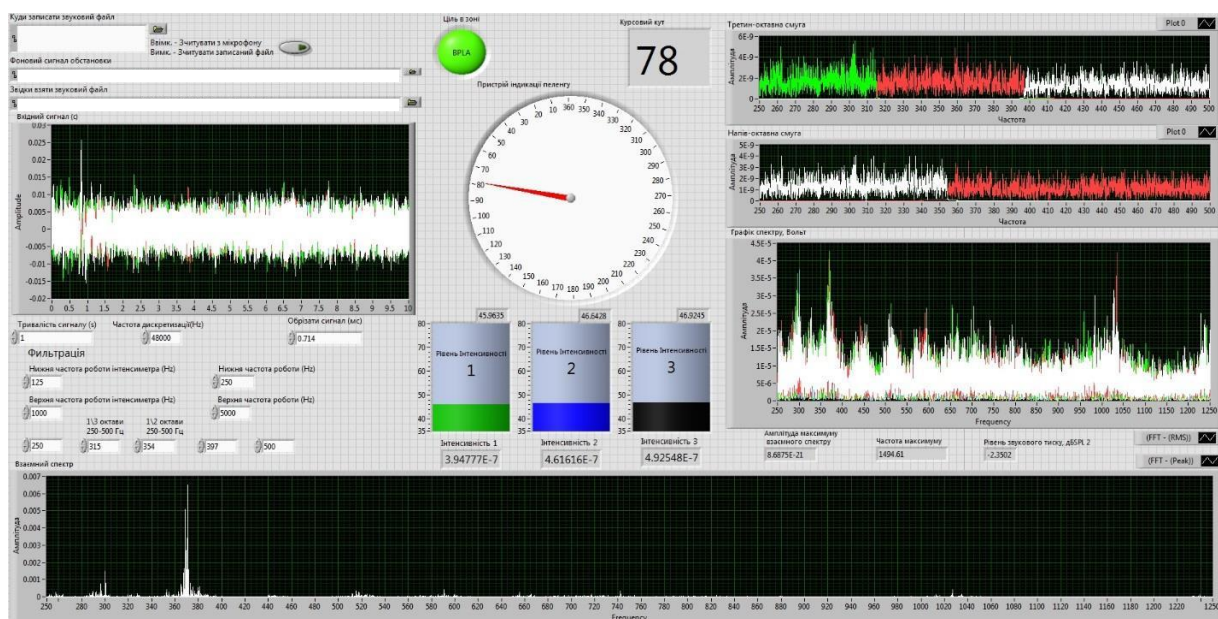


Рис. 3б

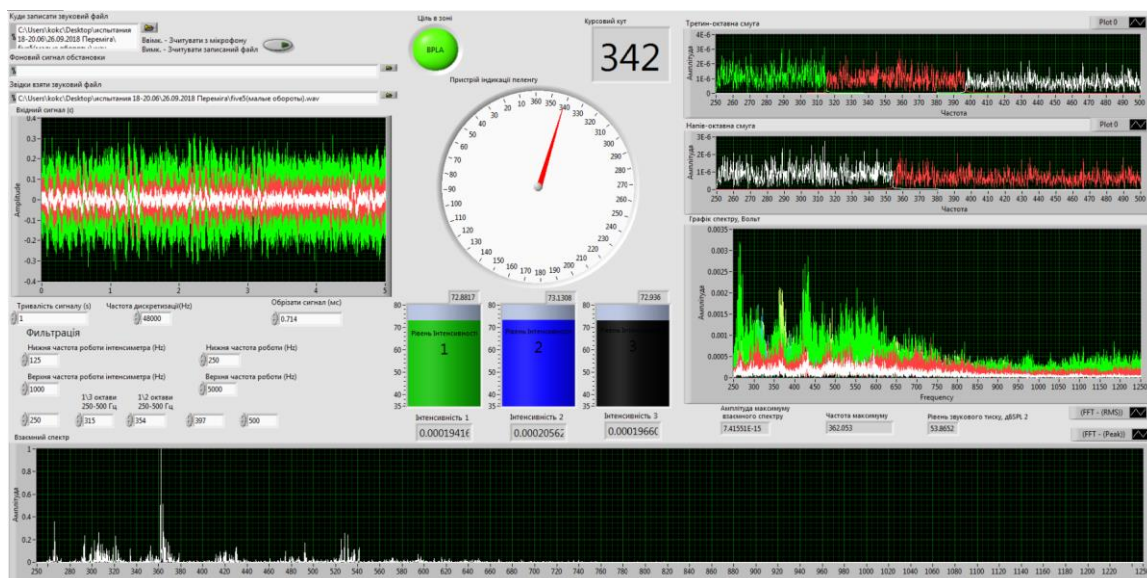


Рис. 3в

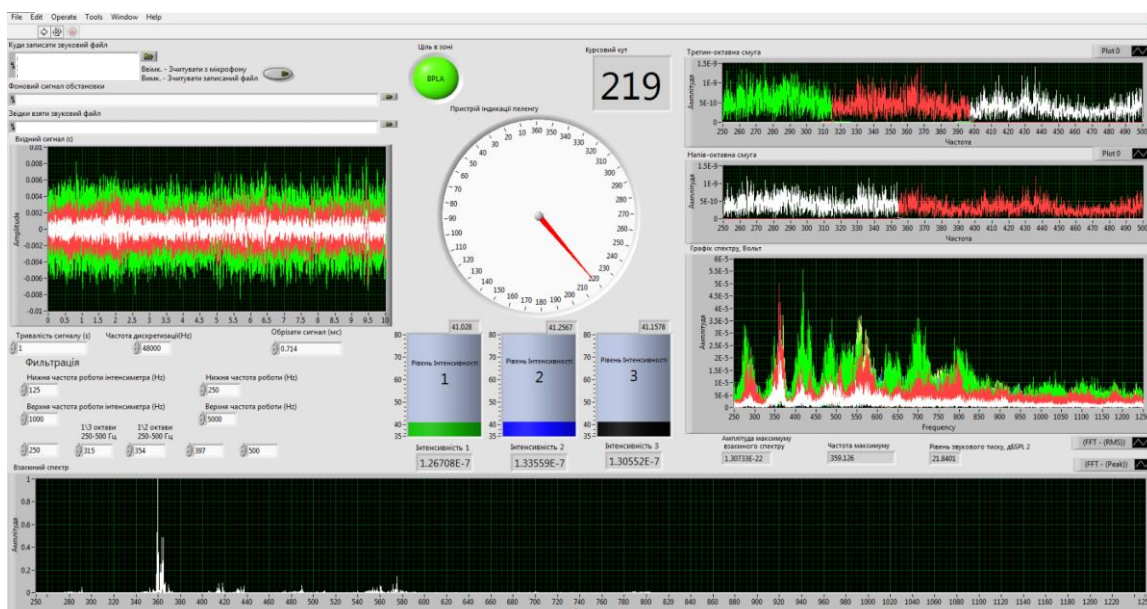


Рис. 3г

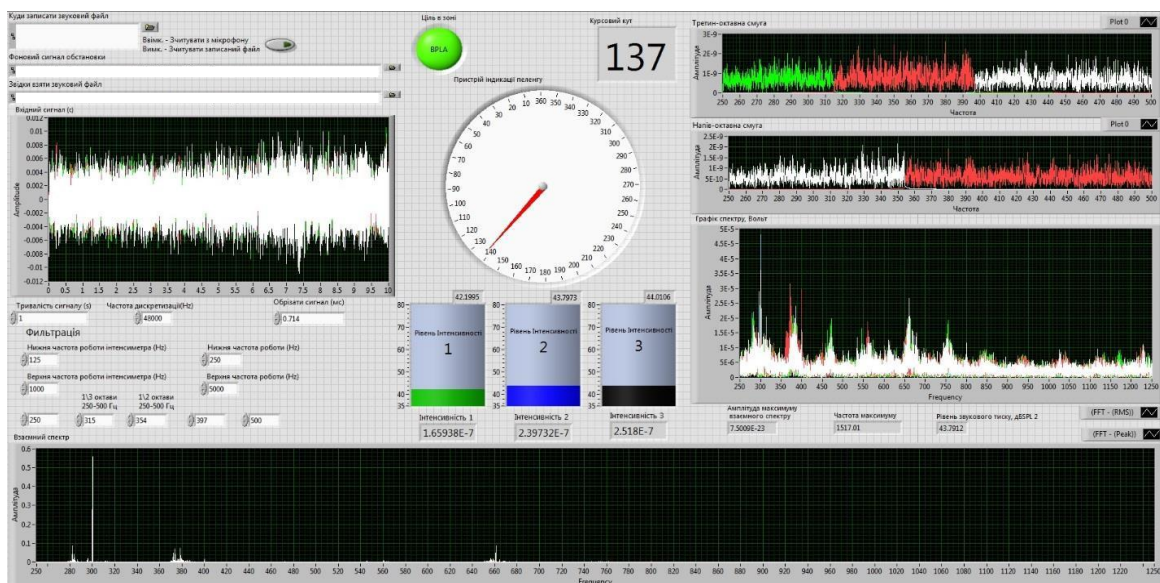


Рис. 3д

На рисунку 3б наведений результат вимірювання, коли квадрокоптер знаходився у I квадранті. На рисунках 3а і 3д наведені результати вимірювань, коли квадрокоптер знаходився у II квадранті. На рисунку 3г – в III квадранті, а на рисунку 3в – в IV квадранті.

Висновки по розділу

В четвертому розділі:

- встановлено що досліджуваний зразок БПЛА характеризується дещо відмінним спектром шуму, що очевидно відповідає особливостям конструкції у порівняння з попереднім БПЛА;
- в отриманих результатах присутні характерні 6 сплесків спектрів шумових сигналів вимірюваного дрона.

ВИСНОВКИ

В результаті проведення експериментальних досліджень шумових характеристик БПЛА гелікоптерного типу DJI Phantom 2 та саморобного 4-ох гвинтового встановлено:

- шумові характеристики вказаних БПЛА мають особливості, які проявляються в характері спектральних характеристик, а саме – відмінності звукоряду за частотами дискретних складових та загальному інтегральному рівні акустичного шуму;
- виконані вимірювання відповідають основним принципам вимірювань акустичних шумів із залученням як стандартних так і оригінальних методик вимірювання. При цьому спектри обох БПЛА характеризуються наявністю шести стійких дискретних компонент спектру сигналу в діапазоні 250-1250 Гц;
- погрішності вимірювань становлять не більше 3 дБ та відповідають умовам довірчого інтервалу 1% для довірчої імовірності 0,95;
- встановлено що відмінність результатів вимірювання в лабораторних умовах та у навколишньому середовищі різняться завдяки впливам зовнішніх джерел шуму та геометрії експериментів, в той самий час коли ситуація лабораторних умов нівелює такий вплив. Відмінність рівней оточуючого шуму становить величину до 10 дБ (при ситуації перебільшення за рівнем досліджуваних шумів над оточуючими не менш ніж 15 дБ);
- частотні значення нижчих гармонік звукоряду БПЛА складають $f_0=280$ Гц, $f_1=370$ Гц, $f_2=470$ Гц, $f_3=560$ Гц для великого і $f_0=270$ Гц, $f_1=310$ Гц, $f_2=360$ Гц, $f_3=420$ Гц для малого;
- класифікаційні ознаки щодо визначення класу БПЛА очевидно криються у відзначених характеристиках звукоряду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jim Romeo. UAV Design Challenges [Electronic resource] / Jim Romeo// Digital Engineering. - 2016. - № 2091. URL:
<http://www.digitaleng.news/de/uav-design-challenges-game-on/>
2. Самохин В. Ф. Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым двигателем в толкающей компоновке / В. Ф. Самохин, С. П. Остроухов, П. А. Мошков // Элект. журн. «Труды МАИ». - 2013. - №70.
3. Клюкин И. И. Акустические измерения в судостроении / И. И. Клюкин, А. Е. Колесников. — Ленинград: «Судостроение», 1968.-403 с
4. Скребнев Г. К. Комбинированные гидроакустические приемники / Скребнев Г. К. - СПб.: Злмор, 1997.-200 с.
5. Дідковський В.С., Акименко В.Я., Запорожець О.І., Савін В.Г., Токарев В.І. Основи акустичної екології. Навч.посібник - Кіровоград: "Імекс ЛТД", 2002
6. Н.А. Виноградова, Я.І. Лістратов, Є.В. Свиридов. «Розробка прикладного програмного забезпечення в середовищі LabVIEW». Навчальний посібник - М.: Видавництво МЕІ, 2005.
7. Применение измерительных систем фирмы Брюль и Къер для измерений акустического шума. Копенгаген:, К.Ларсен и сын, 1971. – 224 с.
8. Краткий каталог оборудования для вибрационных и акустических измерений [Electronic resource] / Брюль и Къер// - 2012. URL:
<http://www.istcgroup.com/pdf/bruel%20catalog.pdf>
9. Сапожков М. А. Электроакустика. Учебник для вузов. М., Связь, 1978. — 272 с. С ил.
10. Е.С. Швець, Я.Л. Сичков, І.А.Третьяков, О.В. Коржик. Використання графічного програмування для організації аналізаторів спектру

паралельного типу Electronics and communications/Vol. 20, № 4(87). 2015, С. 89-93.

11. П.М. Ларін. Магістерська дисертація на тему: "Пристрій пеленгування повітряних об'єктів".
12. А.В. Козак. Магістерська дисертація на тему: "Пристрій виявлення повітряних об'єктів".
13. Пристрій виявлення та пеленгування повітряних об'єктів / Дідковський В.С. , Коржик О.В., Горовий К.В. , Козак А.В. , Ларін П.М. , Ляхевич С.В. // XI науково- практичній конференції "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил" , 8–9 листопада, 2018 р., Київ, Україна – с. 12.
14. Акустичний детектор дронів / Дідковський В.С. , Козерук С.О., Коржик О.В., Горовий К.В. // 3-тя Українська науково-технічна конференція "Спеціальне приладобудування: стан та перспективи", 4–5 грудня, 2018 р., Київ, Україна – с. 35-37.

ДОДАТОК

Перелік публікацій та тез:

д.т.н. Дідковський В.С. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

д.т.н. Коржик О.В. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Горовий К.В. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Козак А.В. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Ларін П.М. (ФЕЛ КПІ ім. Ігоря Сікорського)

Ляхевич С.В. (ЕРАМ)

ПРИСТРІЙ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПЕЛЕНГУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

На сьогодні проблема повітряного шумопеленгування широкосмугових шумовипромінюючих об'єктів викликає підвищену цікавість у зв'язку з розвитком парку безпілотних повітряних дистанційно керованих апаратів, що визначає актуальність обраного напрямку роботи. Проте, відомості про акустичні характеристики таких пристроїв достатньо незначні.

Одним з перспективних, на наш погляд, напрямків створення систем виявлення БПЛА є визначення взаємного спектру та вимірювання інтенсивності звукового поля в робочому середовищі, при появі вказаного об'єкту.

В дослідницькому плані, задача повітряного пеленгування може бути розв'язано шляхом створення віртуальних інструментів для виявлення рухомого повітряного об'єкту за основними характеристиками акустичного поля та визначення напрямку на нього. Таким чином, мета роботи полягає в створенні акустичного мобільного пристрою виявлення та пеленгування об'єктів вказаного типу із залученням середовищ об'єктного програмування.

В роботі алгоритм виявлення реалізовано з використанням комбінованої лінійної дискретної акустичної антени яка забезпечує p і pv прийом акустичних сигналів, пристрою спряження (система АЦП) та програм обробки інформації на основі пакету LabView на персональному комп'ютері (ПК). Антена забезпечує огляд заданого просторового робочого сектора шляхом механічного сканування.

ПК містить програмне забезпечення, створене в середовищі LabView, що реалізує обробку даних та відображення інформації. Ідеологія застосування об'єктного програмування базується на використанні трьох типів систем виявлення:

- вузькосмугового спектру (FFT);
- інтенсивності;
- взаємного спектру.

Використання таких дублюючих систем мають на меті підвищення надійності виявлення та врахування трьох основних проявів збудження акустичного поля.

За результатами розробки створено вимірювальний стенд, програмне забезпечення та проведено натурні випробування системи щодо процедур виявлення та пеленгування літального апарату. В якості об'єкта досліджень було використано безпілотний літальний апарат квадрокоптерного типу DJI Phantom 3, в різних режимах польоту (земля-повітря). Отримано спектральні характеристики акустичного поля при використанні широкосмугової та вузькосмугової фільтрації. Встановлено закономірності визначення курсових кутів з використанням методу рівносигнальних зон. Результати узагальнені та можуть бути використані при формуванні умов технічного завдання на розробку зазначеної систем.

АКУСТИЧНИЙ ДЕТЕКТОР ДРОНІВ

В.С. Дідковський, С.О. Козерук, О.В. Коржик, К.В. Горовий.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,

Київ, Україна

Малі літальні апарати (МЛА), або дрони, використовуються у різних сферах діяльності суспільства, а саме для інспекції сільського та лісного господарства, контролю за транспортними потоками, для транспортування невеликих вантажів. МЛА все частіше з'являються поблизу аеропортів, електростанцій, складів, приватних садів та можуть нести небезпеку як державним так і приватним інтересам. Проблема детектування дронів пов'язана з їх низькою помітністю, як в електромагнітному так і в акустичному діапазонах довжин хвиль. Виявлення ускладнюється особливістю траєкторії польоту, а саме висотою, яка може змінюватись від одиниць до десятків метрів, та динамікою руху, від зависання до прискорення в довільному напрямку. Пристрої радіолокації дозволяють виявляти дрони на відкритих територіях на відстані до 1000м. В умовах складного рельєфу і в зонах зеленого насадження більш ефективні акустичні пасивні методи локації. Дальність дії акустичного детектора не перевищує декількох сотень метрів. Для покриття більшої

зони спостереження застосовують рознесену систему детекторів. Знаючи геометрію системи можна виявити і локалізувати дрон. Основним елементом системи є акустичний детектор, який може реалізувати різні способи обробки звукових сигналів. Найбільш простий спосіб базується на алгоритмі квадратичного детектування вхідного процесу та порівнянні вихідної реакції з деяким пороговим значенням. Структурна схема каналу виявлення (КВ) акустичного детектора представлена на рис.1.

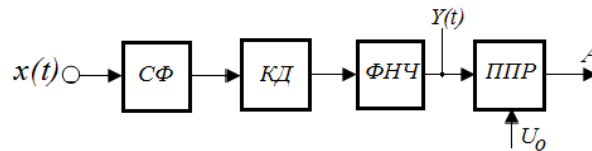


Рис.1. Схема каналу виявлення.

З мікрофону на входи смугового фільтра (СФ) і, далі, квадратичного детектора (КД) поступає адитивна суміш сигналу звукового випромінювання дрона $s(t)$ та акустичної завади $n(t)$: $x(t) = s(t) + n(t)$. Вихідний процес $Y(t)$ на виході фільтра нижніх частот (ФНЧ) пропорційний потужності випромінювання та завади. В пристрої прийняття рішення (ППР) $Y(t)$ порівнюється з пороговим значенням U_0 . Якщо на вході КВ звуковий сигнал дрона відсутній, $Y(t) < U_0$, то на виході ППР $A = "0"$. За умови $Y(t) \geq U_0$ на виході ППР $A = "1"$. Параметр U_0 визначається по критерію Неймана-Пірсона, смуга частот СФ дорівнює ефективній смузі частот випромінювання дрона ΔF , постійна ФНЧ T вибирається із умови $\Delta F T \gg 1$.

Перевірка алгоритму проводилась експериментально під час польоту чотирьох моторного дрону. Спочатку МЛІА наближався до мікрофона на відстань приблизно 50м, а потім віддалявся.

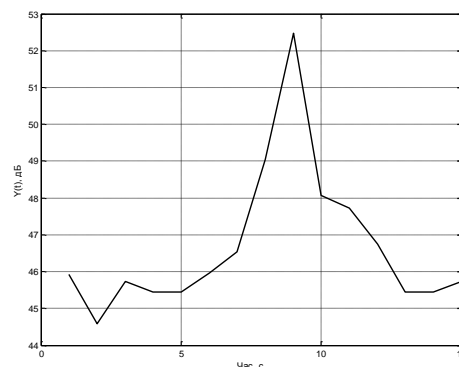


Рис.2.Звуковий тиск на виході фільтра нижніх частот .

Рівень звукового тиску на виході ФНЧ в залежності від часу польоту представлено на рис.2. По мірі наближення дрону рівень звуку змінюється від рівня акустичної завади (45-46)дБ до максимального значення 53дБ. В залежності від вибраного порогу в ППР можна отримати різні вірогідності виявлення. Отримані результати можуть бути використані при розробці детекторів дронів.

Ключові слова: малі літальні апарати, акустичне виявлення, квадратичний детектор.